

П.А. Побегайло

РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОДНОКОВШОВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ: ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ*

Выполнено обобщение наших предыдущих результатов, касающихся исследования геометрических свойств рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов. Это позволило сделать несколько важных выводов и дать несколько общих рекомендаций для практического применения. Установлено, что рабочее оборудование одноковшовых гидравлических экскаваторов имеет глубокие резервы для совершенствования.

Ключевые слова: одноковшовые гидравлические экскаваторы, рабочее оборудование, геометрические свойства рабочего оборудования.

В монографии [1] нами была намечена первая постановка задачи об исследовании геометрических свойств рабочего оборудования (РО) одноковшовых гидравлических экскаваторов (ОГЭ) [выход книги затянулся и поэтому три других работы автора этой статьи были опубликованы раньше]. В последующих наших работах [2–7 и др.] указанная постановка была уточнена. Там же были представлены частные результаты проводимых исследований. Настоящая же работа посвящена суммированию полученных ранее основных результатов. Отметим, что применяемая ниже терминология введена нами ранее [1–7 и др.] и сейчас не поясняется.

Основным ядром исследований геометрических свойств РО ОГЭ является, по нашему мнению, исследование манипулятивности.

За последние два года удалось выполнить исследование манипулятивности для трех типов РО ОГЭ (для восьми различных экскаваторов). Единственным ограничением при выполнении этих исследований является наличие или отсутствие потребных

исходных данных. В будущем, предполагается продолжение этих исследований для других кинематических схем РО и ОГЭ, по мере сбора необходимых исходных данных.

На сегодняшний момент мы рассмотрели следующие кинематические схемы РО ОГЭ:

- первая кинематическая схема РО – схема РО ОГЭ прямого копания с индивидуальным независимым приводом поворота стрелы, рукояти и ковша (например, экскаваторы ЭГ-12А и ЭГ-20 ПО «УРАЛМАШ»);
- вторая кинематическая схема РО – схема РО ОГЭ прямого копания с зависимым приводом ковша (например, проекты экскаваторов ЭГ-15, ЭГ-10 ПО «УРАЛМАШ», проект экскаватора ЭГ-6М одной из коммерческих фирм);
- третья кинематическая схема РО – схема РО ОГЭ обратного копания с моноблочной стрелой (например, проект экскаватора ЭГО-4, МИСИ, проект экскаватора ЭГО-8 ПО «УРАЛМАШ», строительный экскаватор ЭО-5126).

Исследование манипулятивности проводилось согласно следующему алгоритму:

* Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН № 1 «Научные основы робототехники и мехатроники».

- Для рассматриваемой кинематической схемы РО строится рабочая зона. Далее, рассматривая т.н. осевой профиль рабочей зоны, строится, например, прямоугольная, сетка с каким-то наперед выбранным шагом. После этого рассматривается каждая из этих точек (включая точки пересечения сетки с границами рабочей зоны). Удобно исследования начинать с рассмотрения квадратной сетки с метровым шагом. Число точек при этом обычно около ста – трехсот (для мощных ОГЭ);

- Для каждой отдельной точки построенной сетки рассматриваются различные положения ковша, перебираемые с каким-то заданным шагом в диапазоне 360° (шаг должен быть не более 1° , а лучше не более $0,1^\circ$). Фиксация ковша указанным образом позволяет успешно решать обратную позиционную задачу [1 и др.], выясняя, существует ли рассматриваемая кон-

фигурация РО в данной точке. Это позволяет определить для данной точки допустимый диапазон установки ковша. После этого для рассматриваемой точки рабочей зоны вычисляется значение коэффициента сервиса.

- После рассмотрения всех заданных точек рабочей зоны мы имеем все данные для проведения оценки манипулятивности РО ОГЭ. Это удобно делать с помощью графического представления полученных значений коэффициента сервиса. Ведь очень важную роль играет близость областей с высокими значениями коэффициента сервиса к областям, где ОГЭ выполняет свои основные рабочие операции. При этом заметим, что каждой точке рабочей зоны может быть поставлено в соответствие некоторое число – в данном случае – значение коэффициента сервиса. Будем далее называть рабочую зону с нанесенными на нее значениями этой характеристики – скалярным полем сервиса (манипулятивности) (о математическом содержании данного поля сейчас мы говорить не будем).

Используя поля сервиса, полученные нами для различных кинематических схем РО ОГЭ, можно строить их новую классификацию. Опираясь при этом можно и на максимальные значения коэффициента сервиса, и на его средние значения (это удобнее).

Для первой кинематической схемы РО можно сообщить следующее (на основании исследования ЭГ-12А):

Максимальные значения манипулятивности лежат на уровне 0,168 (иными словами, допустимый диапазон установки ковша в рассматриваемых точках рабочей

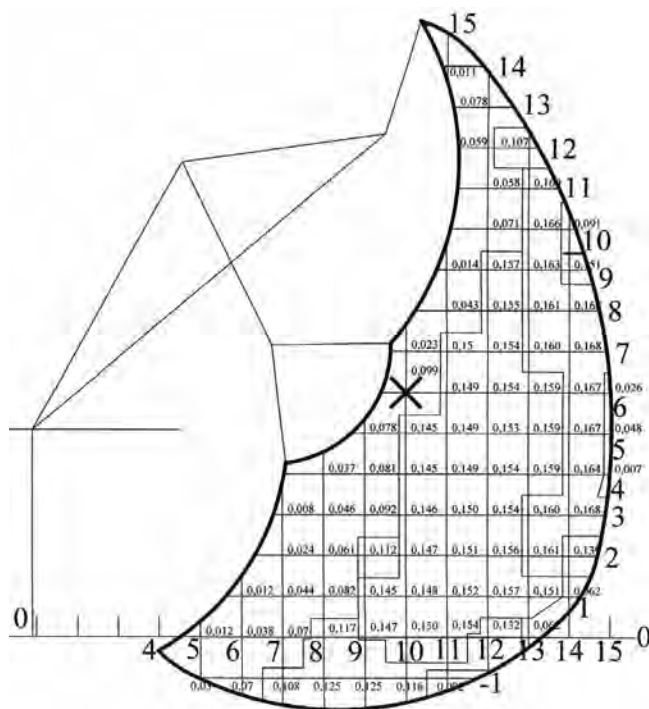


Рис. 1. Поле сервиса (манипулятивности) для экскаватора ЭГ-12А

зоны не превышает 60°). Визуальная оценка распределения значений манипулятивности по рабочей зоне позволяет заключить, что они (максимальные) лежат в центральной части рабочей зоны. Области около границы рабочей зоны характеризуются быстрым понижением значений коэффициента сервиса, особенно со стороны базовой машины. Можно предположить, что любые рабочие операции в участках рабочей зоны со значением коэффициента сервиса меньше 0,1 не являются рациональными (полученные данные можно применять при проектировании системы управления).

Расположение допустимых интервалов установки ковша является важным фактором, позволяющим оценить возможность и эффективность основных рабочих операций ОГЭ. Для данного экскаватора тут скрыт значительный резерв совершенствования РО, так как полученные данные говорят о не рациональном расположении гидроцилиндров (также, по видимому, не рациональны и параметры самих гидроцилиндров).

Итак, рассмотренная кинематическая схема РО ОГЭ прямого копания имеет максимальное значение показателя манипулятивности 0,168. Среднее значение этого показателя в данном случае равно 0,111.

На рис. 1, 2 представлены два поля сервиса для экскаватора ЭГ-12А. Все

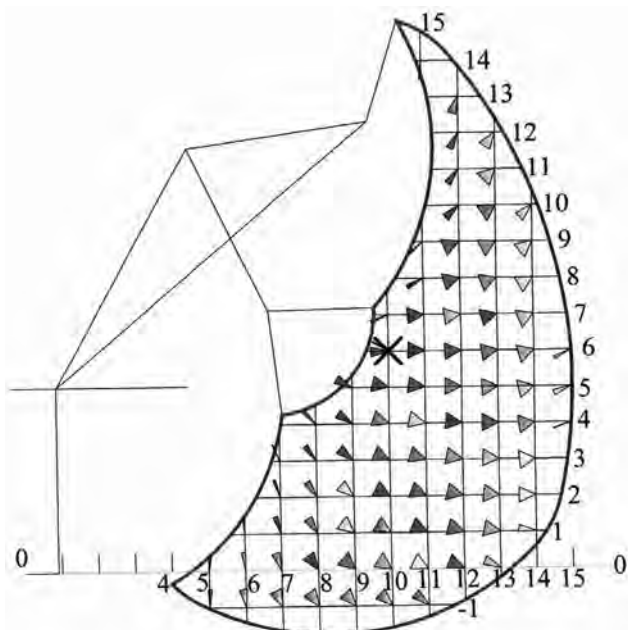


Рис. 2. Второе поле сервиса для экскаватора ЭГ-12А (допустимые диапазоны установки ковша)

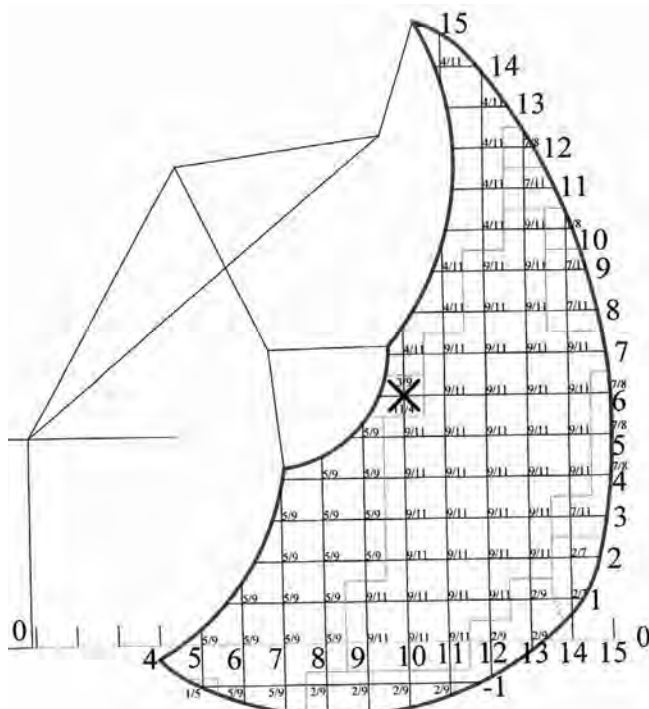


Рис. 3. Третье скалярное поле - поле ограничений ЭГ-12А

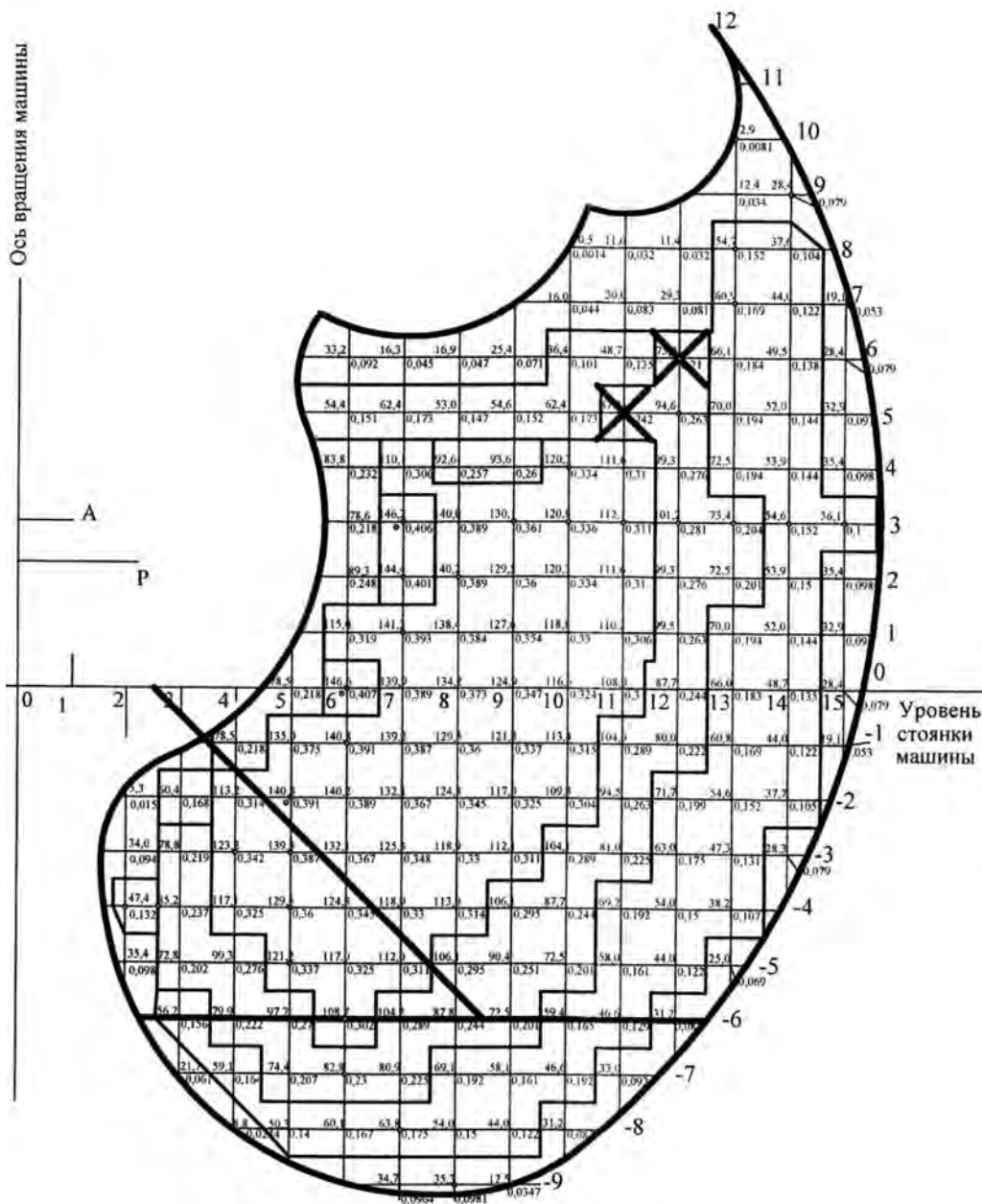


Рис. 4. Поле сервиса (манипулятивности) для экскаватора ЭГО-4

основные численные характеристики исследований геометрических свойств РО ЭГ-12А приведены в таблице (приведены данные по всем изученным нами экскаваторам).

Некоторая разница в численных значениях между ЭГ-12А и ЭГ-20 объясняется меньшей отработкой этой кинематической схемы РО по сравнению с третьей схемой.

По третьей кинематической схеме РО может быть сказано следующее [на примере ЭГО-4] (см. рис. 4, 5): максимальные значения манипулятивности лежат на уровне 0,407 (иными словами, допустимый диапазон установки ковша в рассматриваемых точках рабочей зоны не превышает 150°). Визуальная оценка распределения значений манипулятивности по рабочей зоне позволяет заключить, что они (максимальные) лежат, в основном, от уровня стоянки машины до уровня пяты стрелы в левой части рабочей зоны, ближе к базовой машине. Эта часть рабочей зоны не является основной при выполнении экскаватором основных рабочих операций. Его основные операции выполняются в центральной части рабочей зоны (значения показателя манипулятивности тут лежат на уровне 0,2–0,3), а также вдоль дальней ее границы (значения коэффициента сервиса тут существенно ниже). Возможно, что в корректировке такой картины лежит резерв совершенствования РО ОГЭ обратного копания (это и изменения параметров гидроцилиндров и самого РО).

Итак, рассмотренная кинематическая схема РО ОГЭ обратного копания имеет максимальное значение показателя манипулятивности 0,407. Среднее значение этого показателя в данном случае 0,214.

Очевидно, что для данных экскаваторов третья кинематическая схема РО обладает большей манипулятивностью чем первая (более чем в два раза). По-видимому, рассмотрение иных экскаваторов с такими же кинематическими

схемами РО не изменит эту картину на качественном уровне (это касается всех кинематических схем РО). Например, рассмотрение экскаватора ЭО-5126 дает значение средней оценки сервиса 0,211, что практически идентично оценке ЭГО-4; максимальное же значение коэффициента сервиса для этой машины лежит на уровне 0,526, что несколько выше оценки для ЭГО-4. Также важно отметить, что картины распределений параметров, связанных с манипулятивностью, представленные на рис. 4–6 для ЭГО-4 аналогичны таковым и для прочих машин обратного копания с такой же кинематической схемой РО (у прямых лопат такая же картина для ОГЭ с одинаковыми кинематическими схемами РО) [структуры полей одинаковы и не зависят от типоразмера ОГЭ]. Заметим еще, что

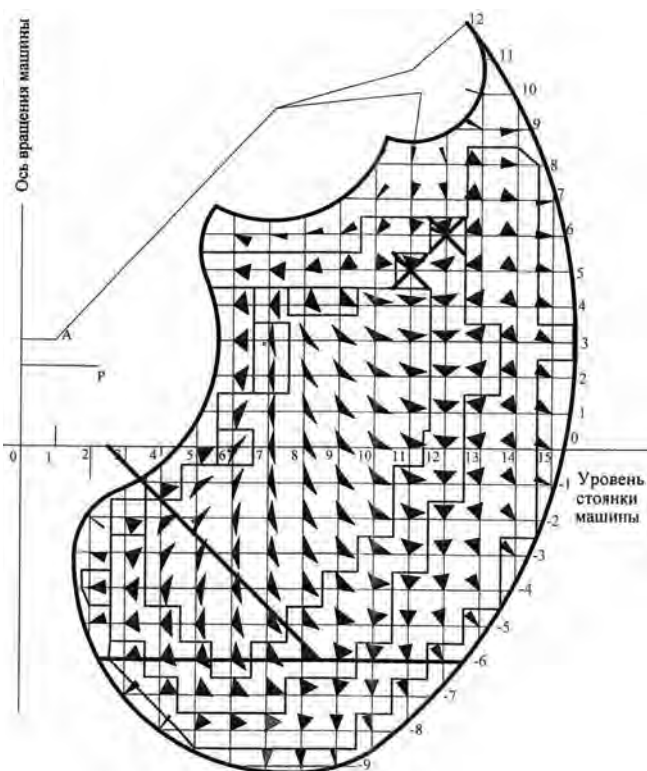


Рис. 5. Второе поле сервиса для экскаватора ЭГО-4 (допустимые диапазоны установки ковша)

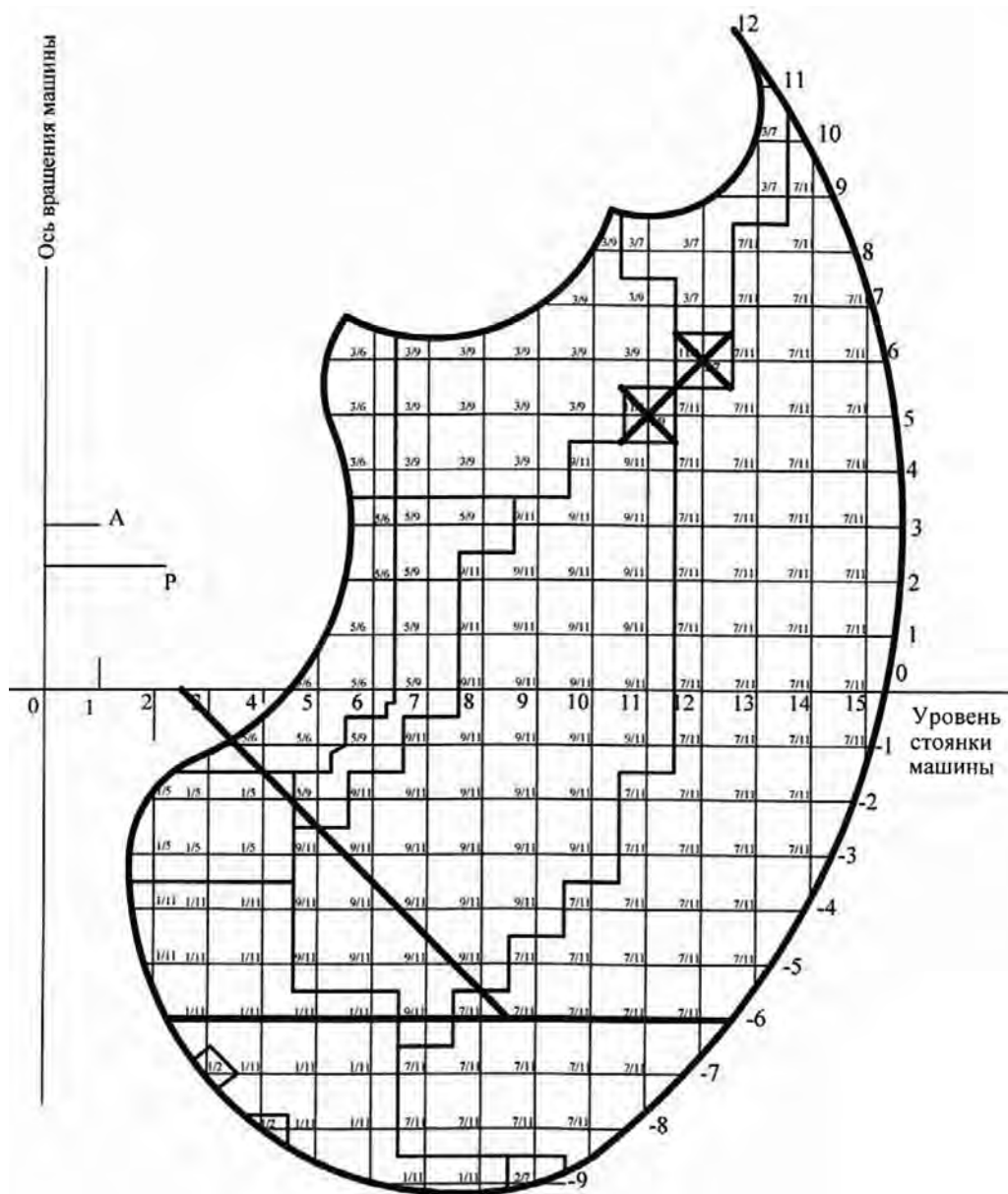


Рис. 6. Третье скалярное поле - поле ограничений ЭГО-4

эта кинематическая схема отработана в нашей стране наиболее лучшим образом.

В ранее приведенном алгоритме оценки манипулятивности для рассматриваемых нами кинематических схем можно отказаться от решения

позиционной задачи. Это возможно, если обратить внимание на то, что любому крайнему положению ковша соответствует какое-либо экстремальное значение длины гидроцилиндров. На базе этого можно ввести двенадцать параметров, характеризующих это

свойство РО. Не уточняя сейчас суть этих параметров, заметим, что первые четыре связаны с гидроцилиндрами стрелы, вторая четверка связана с гидроцилиндрами рукояти, и последняя четверка связана с гидроцилиндрами ковша.

Очевидно, что каждая точка рабочей зоны может быть охарактеризована набором из этих параметров (два числа в наибольшем числе случаев), указывающим на то, что явилось ограничением в данной точке. Это позволяет построить еще одно скалярное поле – поле ограничений манипулятивности. Для экскаватора ЭГО-4 оно приведено на рис. 6 (а для ЭГ-12А на рис. 3). Анализ этого поля показывает, что:

- рабочая зона разбивается на конечное число подзон, характеризующих своим сочетанием ограничивающих факторов;

- число сочетаний факторов не велико по отношению к числу возможных их комбинаций;

- около семидесяти процентов рабочей зоны попадает в две основные подзоны (7–11 и 9–11); в этих подзонах экскаватор и выполняет свою работу; ограничения вызваны в основном приводом ковша и режее рукояти;

- геометрические параметры стрелы практически не оказывают влияние на манипулятивность в той части рабочей зоны, где ведется основная работа;

- по-видимому, каждая подзона на рис. 6 может быть сопоставлена с подзонами на рис. 4.

Изучение подобных скалярных полей для экскаваторов ЭГО-8 и ЭО-5126 показывает, что типоразмер машины (при одинаковой

кинематической схеме РО) не влияет на характер распределения ограничивающих факторов по рабочей зоне – они инвариантны относительно типоразмера экскаватора и имеют вполне определенную пространственную структуру для конкретной кинематической схемы РО. На рис. 7–9 приведены скалярные поля манипулятивности для экскаватора ЭО-5126.

Анализ поля на рис. 3 для ЭГ-12А позволяет сказать следующее:

- рабочая зона разбивается на конечное число подзон, характеризующих своим сочетанием ограничивающих факторов;

- число сочетаний факторов не велико по отношению к числу возможных их комбинаций;

- около восьмидесяти процентов рабочей зоны попадает в две основные подзоны (5–9 и 9–11). В этих подзонах экскаватор и выполняет свою

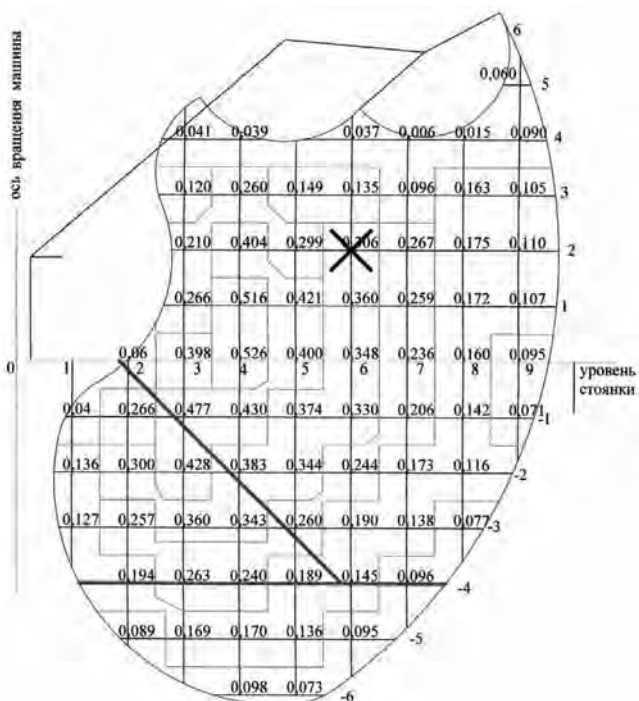


Рис. 7. Поле сервиса (манипулятивности) для экскаватора ЭО-5126

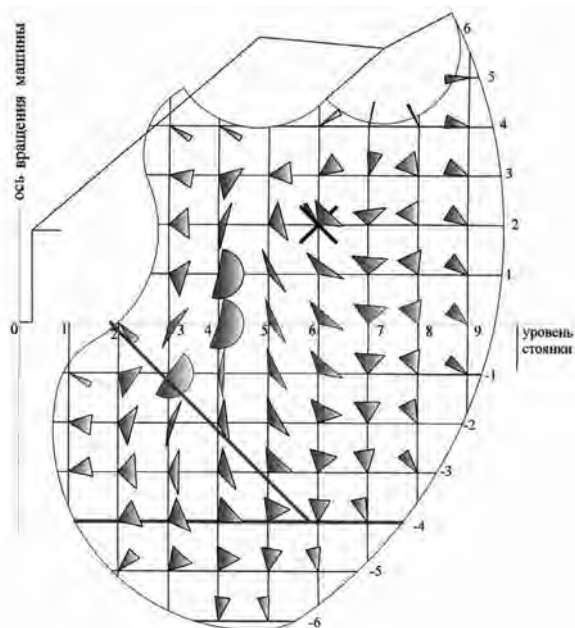


Рис. 8. Второе поле сервиса для экскаватора ЭО-5126 (допустимые диапазоны установки ковша)

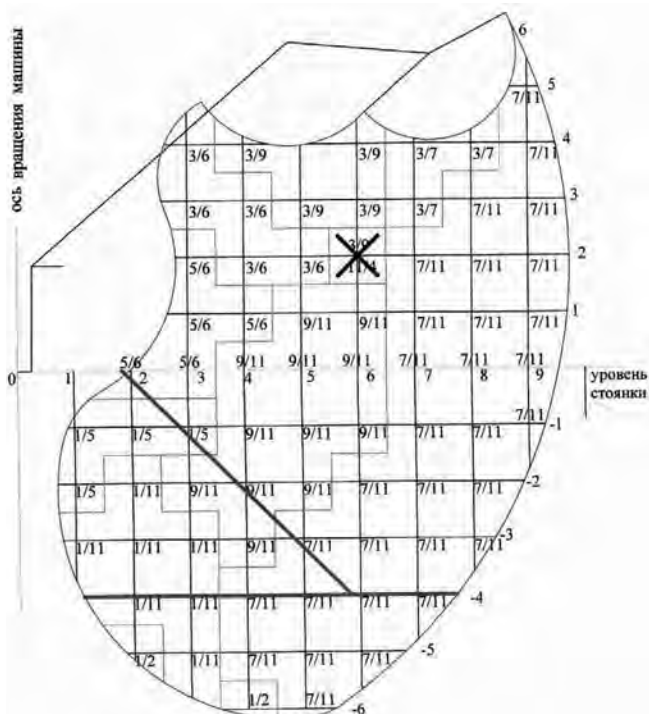


Рис. 9. Третье скалярное поле – поле ограничений ЭО-5126

работу. Ограничения вызваны в основном приводом ковша и режущей рукоятки. При этом сочетание 5–9 соответствует в основном транспортным операциям РО перед началом экскавации, а сочетание 9–11 операции копания;

- геометрические параметры стрелы практически не оказывают влияние на манипулятивность в той части рабочей зоны, где ведется основная работа;
- по-видимому, каждая подзона на рис. 3 может быть сопоставлена с подзонами на рис. 1.

Изучение подобных скалярных полей для экскаватора ЭГ-20 показывает, что типоразмер машины (при одинаковой кинематической схеме РО) не влияет на характер распределения ограничивающих факторов по рабочей зоне – они инвариантны относительно типоразмера экскаватора и имеют вполне определенную пространственную структуру для конкретной кинематической схемы РО.

По второй кинематической схеме РО может быть сказано следующее [на примере ЭГ-10] (рис. 10–12): максимальные значения манипулятивности лежат на уровне 0,22 (иными словами, допустимый диапазон установки ковша в рассматриваемых точках рабочей зоны не превышает 79°). Визуальная оценка распределения значений манипулятивности по рабочей зоне позволяет заключить,

что они (максимальные) лежат, в основном, от уровня стоянки машины до уровня пяты стрелы в центральной части рабочей зоны, а также и чуть выше. Эта часть рабочей зоны является основной при выполнении экскаватором главных рабочих операций, но при этом имеет весьма не большую ширину, что указывает на то, что большая часть работы ЭГ-10 проходит в тех частях рабочей зоны, где манипулятивность существенно ниже (значения показателя манипулятивности тут лежат на уровне 0,1–0,2). Особенно сильно манипулятивность снижена на уровне стоянки экскаватора, что очень не хорошо. По видимому, в корректировке такой картины лежит резерв совершенствования РО ОГЭ прямого копания с рассматриваемым РО (это и изменения параметров гидроцилиндров и самого РО).

Итак, рассмотренная кинематическая схема РО ОГЭ прямого копания имеет максимальное значение показателя манипулятивности 0,22. Среднее значение этого показателя в данном случае 0,137.

Видно, для данных экскаваторов, что вторая кинематическая схема РО обладает большей манипулятивностью чем первая (увеличение не очень большое), и меньшей чем третья (тут разница более существенная). По-видимому, рассмотрение иных экскаваторов с такими же кинематическими схемами РО не изменит эту картину на качественном уровне (например, исследование экскаватора ЭГ-15 дает значение средней оценки сервиса 0,144, что близко к оценке манипулятивности ЭГ-10 (некоторая численная

разница может быть объяснена существенно меньшей отработкой в нашей стране этой кинематической схемы РО в сравнении с третьей)). Также важно отметить, что картины распределений параметров, связанных с манипулятивностью, представленные на рис. 10–12 для ЭГ-10 аналогичны таковым и для прочих машин прямого копания с таким же РО.

Анализ поля на рис. 12 для ЭГ-10 позволяет сказать следующее (появляются два дополнительных ограничения – 13 и 14, связанные с цилиндрами привода ковша; в точках рабочей зоны, где они есть, потеряна манипулятивность за счет применения схемы РО с параллелограммом):

- рабочая зона разбивается на конечное число подзон, характеризуемых своим сочетанием ограничивающих факторов;

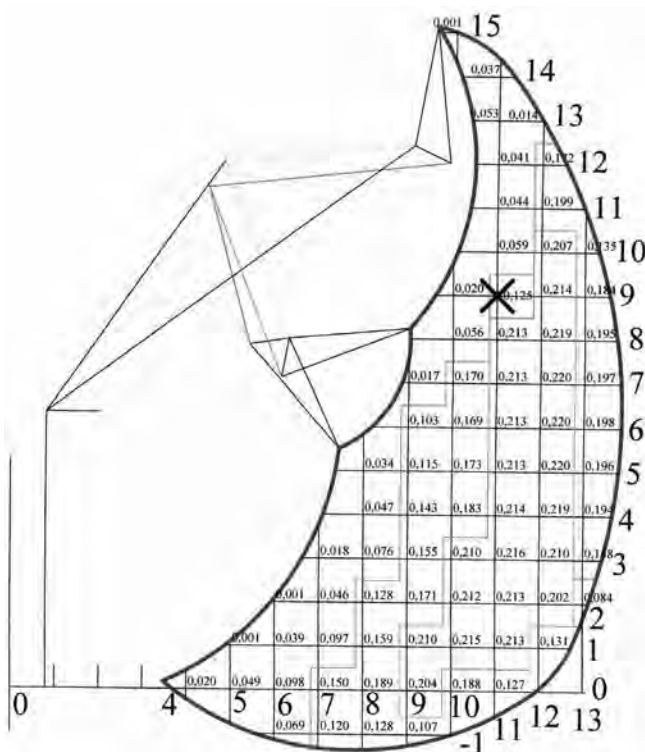


Рис. 10. Поле сервиса (манипулятивности) для экскаватора ЭГ-10

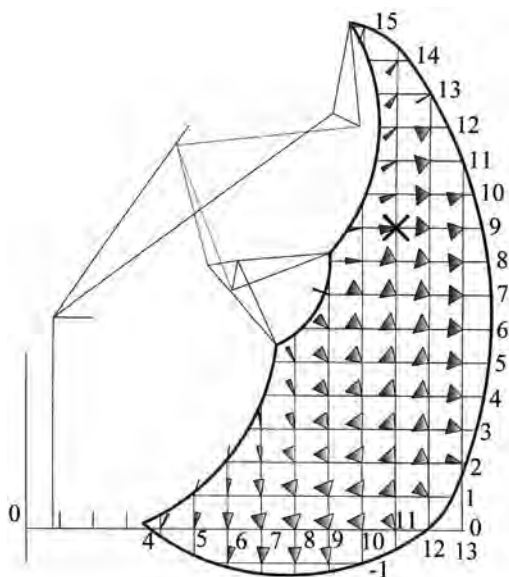


Рис. 11. Второе поле сервиса для экскаватора ЭГ-10 (допустимые диапазоны установки ковша)

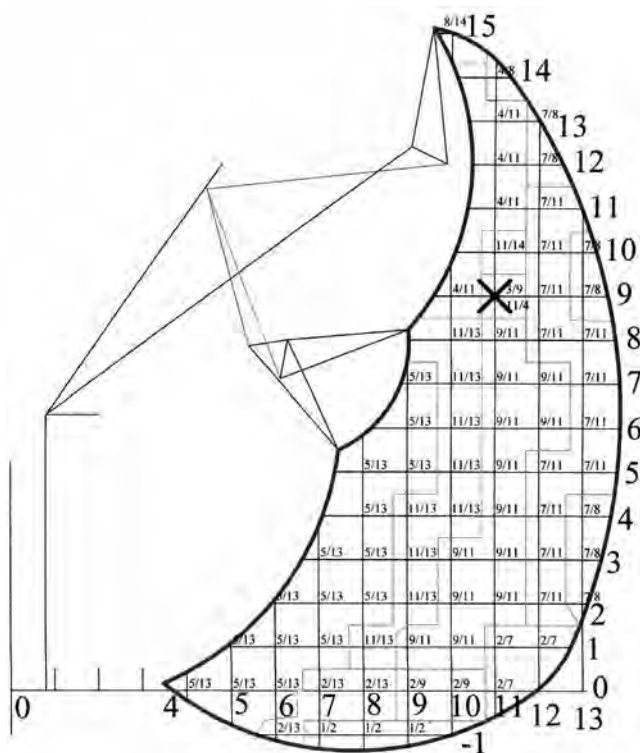


Рис. 12. Третье скалярное поле – поле ограничений ЭГ-10

- число сочетаний факторов не велико, по отношению к числу возможных их комбинаций;

- около восьмидесяти процентов рабочей зоны попадает в четыре основные подзоны (5–13, 11–13, 9–11, 7–11). В этих подзонах экскаватор и выполняет свою работу. Ограничения вызваны в основном приводом ковша и реже рукояти. При этом сочетание 5–13 соответствует в основном транспортным операциям РО перед началом экскавации, а прочие сочетания операции копания. Внешний вид этих подзон может быть назван «ленточным»;

- применение параллелограмма в конструкции механизма привода ковша приводит к сильному сокращению размеров рабочей зоны, в первую очередь рядом с базовой машиной (до трети ее объема);

- геометрические параметры стрелы практически не оказывают влияние на манипулятивность в той части рабочей зоны, где ведется основная работа;

- по-видимому, каждая подзона на рис. 12 может быть сопоставлена с подзонами на рис. 10.

Изучение подобных скалярных полей для экскаваторов ЭГ-6М и ЭГ-15 показывает, что типоразмер машины (при одинаковой кинематической схеме РО) не влияет на характер распределения ограничивающих факторов по рабочей зоне – они инвариантны от-

носителем типоразмера экскаватора и имеют вполне определенную пространственную структуру для конкретной кинематической схемы РО.

Таким образом, на основании критерия манипулятивности, может быть предложена новая классификация РО ОГЭ:

- первая кинематическая схема имеет максимальное значение сервиса 0,16–0,19 (среднее значение 0,11–0,12);
- вторая кинематическая схема имеет максимальное значение сервиса 0,19–0,26 (среднее значение 0,12–0,14);
- третья кинематическая схема имеет максимальное значение 0,4–0,52 (среднее значение 0,21).

Очевидно, что использование среднего значения коэффициента сервиса более удобно для классификации РО.

Попутно с классификацией РО может быть осуществлена и классификация точек рабочей зоны.

Напомним, что при вычислении коэффициента сервиса для точек рабочей зоны мы получаем интервал допустимой установки ковша для каждой из точек. При более пристальном вни-

мании к этому фактору оказывается, что не во всех точках рабочей зоны такой интервал один. Примем число таких интервалов за признак классификации.

Для РО ОГЭ обратного копания точки рабочей зоны по данному признаку могут быть классифицированы на три типа:

- обычные точки (один интервал), их большинство;
- граничные точки (точки границы рабочей зоны, манипулятивность равна, условно, нулю);
- особые точки (два интервала); таких точек мало, для рассматриваемых экскаваторов их частота появления равна приблизительно 1/90; положения РО соответствующие таким точкам могут быть названы особыми.

Для РО ОГЭ прямого копания (для двух рассмотренных нами кинематических схем РО) картина в целом аналогична. При увеличении числа элементов в кинематической схеме РО возможно увеличение и числа интервалов у особых точек.

Ниже приведена таблица, аккумулирующая полученные нами данные при изучении геометрических свойств

Геометрические свойства РО ОГЭ

№	Марка ОГЭ	$\overline{K_c}$	max K_c	max U , град.	$\overline{U}$, град.	Δ , град.	ζ	Тип РО
Первая кинематическая схема РО								
1	ЭГ-12А	0,111	0,168	60,584	39,96	20,624	–	А
2	ЭГ-20	0,128	0,195	70,664	46,08	24,584	–	А
Вторая кинематическая схема РО								
3	ЭГ-6М	0,126	0,191	68,583	45,36	23,223	–	А
4	ЭГ-10	0,137	0,220	79,291	49,32	29,971	–	А
5	ЭГ-15	0,144	0,264	95,196	51,84	43,356	–	А
Третья кинематическая схема РО								
6	ЭГО-4	0,214	0,407	146,6	77,04	69,56	1,149	Б
7	ЭО-5126	0,211	0,526	189,414	75,96	113,454	1,101	Б
8	ЭГО-8	0,209	0,406	146,007	74,24	70,767	1,35	Б

РО для восьми рассмотренных экскаваторов.

В таблице приведены следующие параметры РО: K_c – средний коэффициент сервиса; $\max K_c$ – максимальное значение коэффициента сервиса; $\max U$ – максимальный угол; U – средний угол; Δ – разница между максимальным и средним значением углов, приведенных в этой таблице; ζ (вычислен только для обратных лопат) – разница в манипулятивности в нижней и верхней части рабочей зоны; тип манипулятора – результат классификации по схеме предложенной в работе [8] и перенесенной нами на РО ОГЭ в работе [7].

Знание манипулятивности конкретного РО позволяет узнать о том, насколько она снижена относительно «идеального РО». Этому посвящена наша статья [7] и сейчас мы не будем ее повторять, но учтем полученные там результаты при выписывании выводов по работе.

В статье [6] выполнено исследование пропорций РО ОГЭ в сравнении с пропорциями руки человека. Также учтем это при формировании выводов.

На базе выполненных нами работ представляется целесообразным предложить следующую схему комплексного исследования геометрических свойств РО ОГЭ (ее необходимо включить в практику проектирования отечественных ОГЭ, особенно на ранних стадиях проектирования):

- исследовать манипулятивность рассматриваемого РО;

- сравнить пропорции рассматриваемого РО с известными пропорциями как РО ОГЭ, так и руки человека;

- изучить свойства «идеального РО» для рассматриваемого РО;

- оценить потерю манипулятивности для рассматриваемого РО относительно его «идеального» варианта;

- принять решение о соответствии предлагаемого РО производственным

задачам с позиции геометрических свойств РО и предполагаемой технологии выполнения работ.

Закключение. По итогам наших исследований могут быть сделаны следующие выводы:

- ОГЭ – это манипуляционная система, а его РО при решении многих задач допустимо рассматривать как плоский манипулятор.

- Предложен новый подход к классификации РО ОГЭ. Он основан на понятии манипулятивности. Численно эта оценка выполнена для трех наиболее распространенных кинематических схем РО ОГЭ, что позволило наметить пути их совершенствования. Попутно предложена классификация точек рабочей зоны по числу интервалов допустимой установки ковша. Описанные идеи могут быть перенесены и на иные манипуляционные системы.

- Полезной классификацией для ОГЭ является классификация предложенная в работе [8]. Она позволяет разбить все традиционные ОГЭ на два класса (А и Б). Это дает дополнительные возможности для анализа и синтеза.

- Оценка манипулятивности при проектировании РО может помочь избежать получения рабочих зон с лакунами и дефектами (это особенно важно для разработки не стандартных кинематических схем).

- Анализ характера распределения манипулятивности по рабочей зоне и сравнение этого распределения с распределением максимальных реализуемых усилий указывает на то, что однокритериальная оптимизация РО не имеет смысла (тем более не имеет смысла локальная оптимизация отдельных подсистем РО). Целесообразна многокритериальная оптимизация всего РО (а в перспективе и всего экскаватора), поиск компромисса среди противоречивых требований и характеристик.

- Коэффициент сервиса и прочие связанные с ним показатели, описанные в наших работах, позволяют получать оценки основных геометрических свойств РО ОГЭ, инвариантные по отношению к типоразмеру экскаватора (при одном и том же типе кинематической схемы РО). Пространственная картина распределения этих параметров по рабочей зоне имеет вполне конкретный вид для каждой из кинематических схем РО.

- За применение схемы с параллелограммом в приводе ковша приходится платить сокращением размеров рабочей зоны и снижением манипулятивности на ближних и дальних радиусах копания. С другой стороны в центральной части зоны мы получаем достаточно равномерное значение коэффициента сервиса. Однако при этом ухудшается возможность копания на уровне стоянки машины. При современном уровне развития автоматики, возможно, следует отказаться от таких схем.

- Есть практический смысл в поиске более манипулятивных кинематических схем РО, например за счет лучшей расстановки гидроцилиндров, применения шестизвенных механизмов в приводах элементов РО, уменьшения кинематической длины основного ковша, более обоснованного подбора кинематических длин стрелы и рукояти и пр.

- Предложенная схема комплексного анализа геометрических свойств

РО ОГЭ должна быть включена в практику проектирования отечественных экскаваторов, особенно на ранних стадиях проектирования.

- Проектирование удлиненного РО нужно обязательно сопровождать исследованием его геометрических свойств. Ведь даже незначительное изменение пропорций РО может приводить к существенному изменению манипулятивности. Это важно учитывать и при изменении параметров основного ковша.

- Каждая кинематическая схема РО ОГЭ (и каждый конкретный экскаватор) может быть достаточно полно охарактеризована ансамблем полевых структур. Их минимальный набор: скалярные поля сервиса (двух видов), ограничений, падения манипулятивности; векторное поле нагруженности (при разных режимах копания и пр.).

- При рассмотрении экскаваторов подобной конструкции, чьи размеры укладываются в тот или иной типоразмерный ряд, на основании введенного нами ансамбля полевых структур можно проводить, в некотором смысле идентификацию, т.е. находить параметры подобного экскаватора лежащего между уже известными.

- Резервы совершенствования РО ОГЭ далеко не исчерпаны и весьма велики.

Отметим еще, что все вопросы рассмотренные нами сейчас относительно ОГЭ, до нас никем в мире не ставились и не исследовались.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Побегайло Петр Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: petr214@yandex.ru, ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Побегайло П.А. Мощные однокорпусовые гидравлические экскаваторы: выбор основных геометрических параметров рабочего оборудования на ранних стадиях

проектирования. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 296 с.

2. Побегайло П.А. Некоторые геометрические свойства рабочего оборудования

одноковшовых гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 1. – 28 с.

3. Pobegailo P.A. New classification of the hydraulic excavators working equipment // Българско списание за инженерно проектиране. – 2013. – № 20. – С. 93–99.

4. Побегайло П.А. О классификации рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов по критерию «манипулятивности» / Юбилейная XXV Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС – 2013): материалы конференции (аннотации докладов). – М.: Изд-во ИМАШ РАН, 2013. – С. 69.

5. Побегайло П.А. Манипулятивность и некоторые геометрические свойства рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов / Труды международной

научной конференции посвященной 75-летию ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН «Машины, технологии и материалы для современного машиностроения». – М.: ИМАШ РАН, 2013. – С. 84.

6. Побегайло П.А. О пропорциях рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 143–147.

7. Митрев Р., Побегайло П.А. Идеальное и реальное рабочее оборудование одноковшовых гидравлических экскаваторов: сравнение геометрических свойств // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2015. – № 4. – С. 209–215.

8. Кобринский А.А., Кобринский А.Е. Манипуляционные системы роботов: основы устройства, элементы теории. – М.: Наука, 1985. – 344 с. **UWAS**

UDC 621.879.34

WORKING EQUIPMENT HYDRAULIC EXCAVATORS: RESEARCH OF GEOMETRICAL PROPERTIES

Pobegailo P.A., Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher,
e-mail: petrp214@yandex.ru, Institute for Machine Science named after A.A. Blagonravov
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

In article generalization of our previous results concerning research of geometrical properties of the working equipment of hydraulic excavators is executed. It allowed to draw some important conclusions and to make some general recommendations for practical application. It is established that the working equipment of hydraulic excavators has deep reserves for improvement.

Key words: hydraulic excavators, working equipment, geometrical properties of the working equipment.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work is done in the framework of the program of fundamental research of RAS Institute of transport problems no 1 «Scientific fundamentals of robotics and mechatronics».

REFERENCES

1. Pobegailo P.A. *Moshchnye odnokovshovye gidravlicheskie ekskavatory: vybor osnovnykh geometricheskikh parametrov rabochego oborudovaniya na rannikh stadiyakh proektirovaniya* (Heavy-duty single-bucket hydraulic excavators: Selection of key geometry parameters of working equipment at early planning stage), Moscow, LENAND, 2014, 296 p.

2. Pobegailo P.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, special edition, 2014, no 1, 28 p.

3. Pobegailo P.A. New classification of the hydraulic excavators working equipment. *Българско списание за инженерно проектиране*. 2013, no 20, pp. 93–99.

4. Pobegailo P.A. *Yubileynaya XKhV Mezhdunarodnaya innovatsionno-orientirovannaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov (MIKMUS 2013): materialy konferentsii (annotatsii dokladov)* (XXV Anniversary International Innovation-Oriented Conference of Young Scientists and Students (MIKMUS–2013): Proceedings), Moscow, Izd-vo IMASH RAN, 2013, pp. 69.

5. Pobegailo P.A. *Trudy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii posvyashchennoi 75-i letiyu IMASH im. A.A. Blagonravova RAN «Mashiny, tekhnologii i materialy dlya sovremennogo mashinostroeniya»* (Proceedings of International Conference on Machines, Technologies and Materials for the Contemporary Machine Building Dedicated to the 75th Anniversary of Blagonravov Institute for Machine Science RAS), Moscow, Izd-vo IMASH RAN, 2013, pp. 84.

6. Pobegailo P.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2015, no 2, pp. 143–147.

7. Mitrev R., Pobegailo P.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2015, no 4, pp. 209–215.

8. Kobrinskii A.A., Kobrinskii A.E. *Manipulyatsionnye sistemy robotov: osnovy ustroystva, elementy teorii* (Robot's manipulator systems: design principles, theoretical elements), Moscow, Nauka, 1985, 344 p.